



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE BIOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA E
CONSERVAÇÃO DE RECURSOS NATURAIS



GABRIELE ANDREIA DA SILVA

CONSERVAÇÃO DA ANDORINHA-DE-COLEIRA, *Pygochelidon melanoleuca*
(WIED, 1820) (AVES: HIRUNDINIDAE) NO BRASIL: AMEAÇAS POR
EMPREENDIMENTOS HIDRELÉTRICOS

UBERLÂNDIA

2019

GABRIELE ANDREIA DA SILVA

**CONSERVAÇÃO DA ANDORINHA-DE-COLEIRA, *Pygochelidon melanoleuca*
(WIED, 1820) (AVES: HIRUNDINIDAE) NO BRASIL: AMEAÇAS POR
EMPREENDIMENTOS HIDRELÉTRICOS**

Dissertação apresentada ao Programa de
Mestrado em Ecologia e Conservação de
Recursos Naturais, da Universidade Federal
de Uberlândia, como exigência parcial para
obtenção do título de Mestre em Ecologia e
Conservação de Recursos Naturais.

Orientadora: Dra. Celine de Melo.

Coorientadora: Dra. Renata Guimarães
Frederico.

UBERLÂNDIA

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

S586c Silva, Gabriele Andreia da, 1993
2019 Conservação da andorinha-de-coleira, *Pygochelidon melanoleuca* (Wied, 1820) (Aves: Hirundinidae) no Brasil [recurso eletrônico] : ameaças por empreendimentos hidrelétricos / Gabriele Andreia da Silva. - 2019.

Orientadora: Celine de Melo.

Coorientadora: Renata Guimarães Frederico.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação de Recursos Naturais.

Modo de acesso: Internet.

Disponível em: <http://dx.doi.org/10.14393/ufu.di.2019.1307>

Inclui bibliografia.

Inclui ilustrações.

1. Ecologia. 2. Ecossistemas aquáticos. 3. Usinas hidrelétricas - Aspectos ambientais - Amazônia. 4. Ave - Ecologia. I. Melo, Celine de, 1971, (Orient.). II. Frederico, Renata Guimarães, 1978, (Coorient.). III. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação de Recursos Naturais. IV. Título.

CDU: 574

Angela Aparecida Vicentini Tzi Tziboy – CRB-6/947

Gabriele Andreia da Silva

**CONSERVAÇÃO DA ANDORINHA-DE-COLEIRA, *Pygochelidon melanoleuca*
(WIED, 1820) (AVES: HIRUNDINIDAE) NO BRASIL: AMEAÇAS POR
EMPREENHIMENTOS HIDRELÉTRICOS**

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre no Programa de Pós-graduação em Ecologia e Conservação de Recursos Naturais em Ecologia da Universidade Federal de Uberlândia pela seguinte banca examinadora:

Uberlândia, 26 de fevereiro de 2019.

Profa. Dra.Celine de Melo - presidente
Universidade Federal de Uberlândia

Prof. Dr. Jamir Afonso do Prado Júnior
Universidade Federal de Uberlândia - UFU

Prof. Dra. Marina Anciães
Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA

À vida...

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer ao Programa de Pós-graduação em Ecologia e Conservação de Recursos Naturais da Universidade Federal de Uberlândia, bem como a coordenação (Dr. Heraldo Luis de Vasconcelos e Dr. Paulo Eugênio Alves Macedo de Oliveira) e secretaria do programa (Juliana Pinheiro Fernandes) por todo suporte durante o desenvolvimento do mestrado. À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro. À Dra. Celine de Melo, por ter me aceitado como orientanda e pelos “puxões” de orelha, conselhos e cuidados. Sem ela não teria realizado meu sonho. À minha coorientadora Dra. Renata Guimarães Frederico que se dispôs a me ajudar tão prontamente (mal sabia o que esperava kkkkk): esse projeto só foi possível graças a ela. Aos membros da banca Dr. Jamir Afonso do Prado Júnior e Dra. Marina Anciães pelo aceite do convite e contribuições ao manuscrito.

Ao meu “anjo da guarda” Msc. Gilberto Nepomuceno Salvador que me aguenta desde 2015 e sempre me ajudou quando precisei (com minha dissertação não foi diferente), ele é o grande exemplo de profissional que quero me tornar. À Dra. Sara Miranda Almeida e ao Msc. Gustavo Bernardino Malacco da Silva por todo apoio e disponibilidade na elaboração e construção desse trabalho (estamos concluindo mais uma etapa juntos!). Aos professores do programa e os colegas de sala por cada ensinamento compartilhado. Aos meus amigos de laboratório, João e Marina. Passamos por muitos desafios juntos e conseguimos superar com êxito. Às turmas das disciplinas de “Geoprocessamento” e de “Clima, uso do solo e comportamento hidrológico de bacias hidrográficas”, em especial os professores Dr. Jorge Luis Silva Brito e Dr. Vanderlei de Oliveira Ferreira, e um grande colega, Msc. Rafael Mendes Rosa. Obrigado por toda atenção, disponibilidade, conhecimento e ensinamento compartilhado, muitas coisas desse projeto só foram possíveis graças a eles.

À minha família, sobretudo meus pais Lêda e Alberto, minha irmã Christiany e meu cunhado Michel, sem eles não teria chegado nem na metade do caminho. Obrigado por serem minha base, minha fortaleza e me apoiarem mesmo não entendendo muito bem o que faço. Às minhas amigas Aline, Daniela, Thaís e Laisa pelo prazer de dividir a vida comigo: mais uma etapa concluída juntas! À Dra. Débora Nogueira Campos Lobato, minha grande mestre e amiga de todas as horas. Obrigado por todos os ensinamentos, conselhos e incentivos. À Luciana, Amanda, Dani, Joice, Sílvia, Thaisa e Marcinho por me acompanharem em mais etapa e dividirem mais um pouco desse momento comigo

(esse trabalho é nosso!). À Beatriz, Bianca, Manu e Carol por aguentarem meus “surto”, por me ouvirem, dar apoio moral e por terem deixado as coisas tão leves. Ao forró (kkkkk) e a turminha do forró (Alison, Víctor, Jackson, Felipe, Daniel), por alegrarem meus dias e me proporcionaram momentos de descontração maravilhosos. Por último e não menos importante, agradeço ao Túlio (meu grande revisor rsrs) por toda atenção e disponibilidade em me ajudar nessa reta final do trabalho, por deixar cada momento tão único e especial, por embelezar os meus dias e, trazer alegria e paz nas horas que mais precisei.

De que tudo que escrevi até hoje, essa é sem dúvida a parte mais difícil. Sentar na cadeira em frente ao computador para pensar em “quem agradecer” e como “irei agradecer” não foi nada fácil. Não pensei que fosse viver uma aventura tão incrível e desafiadora ao mesmo tempo. O que tenho em mente são os “flashes” desses dois anos. Construções e reconstruções são as palavras que definiram muito bem tudo o que o mestrado representou. O “novo”, os desafios, as inseguranças, os medos, os sonhos, as vontades, as frustrações, os desesperos, as alegrias, os desapontamentos, as amizades, os momentos, os descobrimentos, tantas coisas aconteceram para que eu chegasse até aqui. Se hoje estou finalizando essa etapa é porque cada uma das pessoas que mencionei anteriormente, tornaram isso possível. Enfim, agradeço à vida por tudo e, principalmente, por todos que passaram pelo meu caminho.

SUMÁRIO

| | |
|----------------------------------|------|
| LISTA DE FIGURAS | ix. |
| LISTA DE TABELAS | x. |
| RESUMO | xi. |
| ABSTRACT | xii. |
| INTRODUÇÃO | 01. |
| MATERIAL E MÉTODOS | 03. |
| RESULTADOS | 08. |
| DISCUSSÃO | 16. |
| AGRADECIMENTOS | 19. |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 19. |

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Registros de ocorrência de *Pygochelidon melanoleuca* apresentando sua distribuição na América do Sul e nas regiões hidrográficas do Brasil. A classificação de região hidrográfica seguiu a Ottocodificação Nível 1 da Agência Nacional das Águas (ANA).....04.

Figura 2 - Empreendimentos hidrelétricos construídos (A) e planejados (B) no Brasil de acordo com Sistema de Informações Georreferenciadas do Setor Elétrico (SIGEL) da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).....07.

Figura 3 - Mapas da distribuição potencial de *Pygochelidon melanoleuca* gerados pelos diferentes algoritmos (Maxent, Random Forest e Support Vector Machine) e o modelo final, obtido a partir do ‘ensemble’ dos modelos parciais de cada algoritmo. As regiões em verde mais escuro são consideradas áreas com maior potencial de ocorrência da espécie.....09.

Figura 4 - Empreendimentos hidrelétricos construídos (A) e planejados (B) sobre a área de potencial distribuição de *Pygochelidon melanoleuca* no Brasil.....13.

Figura 5 - Empreendimentos hidrelétricos construídos nas áreas de potencial distribuição de *Pygochelidon melanoleuca* por regiões hidrográficas: Paraná (A), Costa Atlântica Leste (B), Amazônia (C) e Costa Atlântica Marajó (D).....14.

Figura 6 - Empreendimentos hidrelétricos construídos e planejados nas áreas de potencial distribuição de *Pygochelidon melanoleuca* por regiões hidrográficas: Paraná (A), Costa Atlântica Leste (B), Amazônia (C) e Costa Atlântica Marajó (D).....15.

Figura 7 - Quantidade de habitat adequado a ocorrência de *Pygochelidon melanoleuca* no Brasil. Habitat adequado (área de distribuição potencial sem presença de empreendimentos hidrelétricos), Habitat com empreendimentos hidrelétricos construídas (cenário atual) e Habitat com empreendimentos planejados (cenário futuro).....15.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resultado dos modelos de distribuição gerados para *Pygochelidon melanoleuca* com os valores AUC (Area Under Curve) e TSS (True Skill Statistic). RF, Random Forest; SVM, support Vector Machine; DP, Desvio Padrão10.

Tabela 2 - Quantidade de empreendimentos hidrelétricos construídos e planejados de acordo com a categoria de classes de adequabilidade de habitat para ocorrência de *Pygochelidon melanoleuca* no Brasil11.

Resumo

A perda de habitat pela construção de empreendimentos hidrelétricos é a principal ameaça relacionada ao declínio das populações da andorinha-de-coleira (*Pygochelidon melanoleuca*). Analisamos o quanto os empreendimentos hidrelétricos construídos (cenário atual) e planejados (cenário futuro) estão sobrepostos com as áreas de potencial ocorrência da espécie no Brasil. Foram usados os algoritmos Random Forest, Maxent e Support Vector Machine para modelar a distribuição potencial da espécie. Em seguida, os empreendimentos hidrelétricos construídos e planejados foram sobrepostos com o modelo de distribuição potencial a fim de calcular o percentual de área de potencial distribuição que está e será afetada pela construção desses empreendimentos. Aproximadamente, 35,33% dos empreendimentos hidrelétricos construídos estão sobrepostos com as áreas de potencial distribuição da espécie. Quando analisamos a sobreposição dos empreendimentos planejados, verificamos que mais 43,80% das hidrelétricas estarão sobrepostas com as áreas de distribuição potencial de *P. melanoleuca*. A maioria dos empreendimentos localizados na região hidrográfica do Paraná e Costa Atlântica Leste está em áreas de menor adequabilidade de habitat para ocorrência da espécie, e aqueles empreendimentos localizados na região hidrográfica Amazônica e Costa Atlântica Marajó estão em áreas com maior adequabilidade. As análises demonstraram que houve uma redução da quantidade de habitat adequado para a espécie, devido à sobreposição de empreendimentos hidrelétricos construídos nas suas áreas de potencial distribuição, e caso haja a implantação dos empreendimentos planejados a quantidade de habitat adequado necessária à persistência da espécie continuará reduzindo.

Palavras-chave: Amazônia, América do Sul, Modelagem de Distribuição de Espécies, Neotrópico.

Abstract

The loss of habitat due to the construction of hydropower plants is the main threat related to the decline of the Black-collared Swallow population (*Pygochelidon melanoleuca*). We analyzed how much of its area of distribution is overlapped with the existing hydropower plants (current scenario) and planned (future scenario) in Brazil. We used the Random Forest, Maxent and Support Vector Machine algorithms to model the potential distribution of the species. Then, the model of potential distribution was overlapped with the location of existing and planned hydropower plants in order to calculate how much the potential area is and will be affected by the construction of these ventures. Approximately 35.33% of the built hydropower ventures are overlapped with the areas of potential distribution of the species. When we analyzed the superposition of the planned ventures, we verified that more 43.80% of the hydropower ventures will be overlapped with the area of potential distribution of the *P. melanoleuca*. Most hydropower plants located in the hydrographic regions of Paraná and Costa Atlântica Leste are in areas with less suitability of habitat for the occurrence of the species, and the ventures located in the hydrographic regions of Amazônica and Costa Atlântica Marajó are in areas with more suitability of habitat. The analyzes demonstrated that there was a reduction of quantity of suitable habitat for the species due to the superposition of hydropower ventures built in the areas of its potential distribution, and if the implementation of the planned ventures occurs, the quantity of necessary suitable habitat for the persistence of the species will continue to reduce.

Key-words: Amazon. Conservation Actions. Species Distribution Modelling. Neotropic.

Introdução¹

Os ecossistemas aquáticos estão entre os ambientes mais vulneráveis aos efeitos das atividades humanas, incluindo erosão acelerada, desmatamento, sedimentação e empreendimentos hidrelétricos. Diante desse cenário, as áreas de proteção são importantes instrumentos de gestão ambiental, contribuindo para a redução dos impactos antrópicos na integridade desses ecossistemas e, conseqüentemente, constituem uma das principais estratégias para conservação da biodiversidade (Frissell and Bayles 1996, Lovejoy 2006). Apesar de sua importância para a biota terrestre, essas áreas têm se mostrado pouco eficientes na conservação da biodiversidade aquática no Brasil (Azevedo-Santos et al. 2018). Na Amazônia, por exemplo, a maioria das áreas prioritárias para a conservação de peixes de riachos encontra-se fora de unidades de conservação (Frederico et al. 2018), enquanto algumas espécies de tartarugas perderam grande parte de área de distribuição potencial devido ao desmatamento neste bioma (Fagundes et al. 2018). Adicionalmente, mais de 50% das espécies de anfíbios podem ter seus habitats perdidos devido à sobreposição por empreendimentos hidrelétricos nessa região (Silva et al. 2018).

Os projetos hidrelétricos vêm aumentando nos neotrópicos, por causa do aumento da demanda energética e o abundante potencial inexplorado na região (Finer e Jenkins, 2012). O Brasil está entre os cinco países do mundo com maior potencial de aproveitamento hidrelétrico (IEA 2017), sendo que existem cerca de 1.679 hidrelétricas planejadas em todo território brasileiro (ANEEL 2018). No entanto, 40,6% desse potencial está localizado na Bacia Amazônica (Eletrobrás 2010), com aproximadamente 191 reservatórios construídos e 246 empreendimentos hidrelétricos planejados ou em construção (RAISG 2013).

A andorinha-de-coleira, *Pygochelidon melanoleuca* (Wied, 1820) (Aves, Hirundinidae) é uma espécie de passeriforme dependente de rios de médio e grande porte que apresentam cachoeiras e corredeiras, ocupando principalmente trechos amplos e abertos com pedras salientes (Turner 2016). Os afloramentos rochosos expostos no curso d'água representam os principais locais para suas atividades de forrageio e construção de ninhos durante o período reprodutivo (Hilty 2002). Sua distribuição geográfica abrange quase toda a América do Sul, ocorrendo desde o extremo leste da Colômbia, sudeste e

¹ O texto foi preparado para submissão na revista “Biodiversity and Conservation” e obedece a formatação das normas do periódico.

leste da Venezuela, Guiana, Guiana Francesa, Bolívia, Suriname, Brasil, Paraguai, até o nordeste da Argentina (Birdlife International 2017). No Brasil, pode ser encontrada na região Amazônica (alto rio Negro, Amapá e ao longo das drenagens dos rios Madeira, Tapajós, Xingu e Tocantins), e apresenta registros pontuais na Bahia, Minas Gerais, Goiás, Pernambuco e Paraná (Ridgely e Tudor 1989; Sick 1997; Straube et al. 2004; Turner 2016; Silva 2017).

Quanto à categoria de ameaça, *P. melanoleuca* é classificada globalmente como “Pouco preocupante” (BirdLife International 2017) uma vez que apresenta (1) ampla distribuição, (2) população estável e (3) tamanho populacional distante dos limiares da categoria “Vulnerável”. No Brasil, porém, a espécie é considerada “Quase ameaçada” (critério A3c) devido à probabilidade de redução de sua população ocorrer num futuro próximo (aproximadamente 100 anos) (MMA 2015). A perda de habitat provocada pela implantação de empreendimentos hidrelétricos constitui a principal ameaça à persistência da espécie (Drummond et al. 2008; Lees et al. 2016; Silva et al. 2017), uma vez que a construção das barragens afeta o fluxo da água e transforma o ambiente de trechos com corredeiras e/ou cachoeiras (ambiente lótico) em um lago (ambiente lêntico) (Silva et al. 2012). Adicionalmente, com o enchimento do reservatório, a disponibilidade de rochas expostas no curso d’água é reduzida, ameaçando a persistência da espécie devido à perda de microhabitat (Silva et al. 2017). Por exemplo, no estado de Minas Gerais, uma das regiões mais urbanizadas do país, todos os locais onde *P. melanoleuca* foi registrada apresentam hidrelétricas construídas ou planejadas (Silva et al. 2017).

Diante desse cenário, a identificação de áreas com condições ambientais adequadas à ocorrência da espécie e a avaliação dos potenciais impactos que ameaçam a persistência de suas populações podem contribuir para a elaboração de estratégias de conservação que visem diminuir os impactos negativos sobre a mesma. A modelagem preditiva de distribuição de espécies constitui uma importante ferramenta para conservação da biodiversidade (Guisan et al. 2013; Villero et al. 2016), ajudando os tomadores de decisão na elaboração e implementação de um planejamento ambiental de conservação mais efetivo. Através dessa ferramenta é possível identificar os locais em que a espécie está mais vulnerável às atividades antrópicas e/ou selecionar áreas com maior prioridade para conservação (Villero et al. 2016; Carvalho et al. 2017; Fern e Morrison 2017; Hughes 2017).

Embora *P. melanoleuca* não seja considerada uma espécie aquática, ela possui uma forte dependência ecológica desse ambiente. Dessa maneira, é necessário também

considerar a conservação dos ecossistemas aquáticos no planejamento de medidas de conservação dessa espécie de aves. Nesse contexto, no presente estudo utilizamos a modelagem preditiva de distribuição para (1) fornecer uma estimativa da distribuição potencial de *P. melanoleuca* no Brasil; (2) analisar o quanto os empreendimentos hidrelétricos construídos estão sobrepostos com a área de potencial ocorrência da espécie (cenário atual) e (3) verificar o quanto os empreendimentos hidrelétricos planejados estarão sobrepostos com as áreas de potencial ocorrência (cenário futuro).

Material e métodos

Espécie do estudo

Pygochelidon melanoleuca foi o modelo deste estudo por se tratar de uma ave impactada pela construção de empreendimentos hidrelétricos, devido à perda de seu micro-habitat pelo enchimento do reservatório. A espécie tem aproximadamente 14 cm e 12 g, e reúne-se em grandes bandos (80 ou mais indivíduos), podendo forragear com outras espécies de Hirundinidae (Hilty 2002). A sua dieta inclui insetos como mosquitos (Diptera), besouros (Coleoptera), formigas e vespas parasitoides (Hymenoptera), e hemípteros. Está distribuída principalmente na bacia Amazônica e Orinoco, e em grandes rios na bacia do Tocantins, Costa Atlântica Leste e Paraná (Fig. 1). Pode ser considerada um modelo útil por ter uma distribuição bem conhecida e apresentar registros de ocorrência disponíveis em base de dados *online* e coleções biológicas.

Pontos de ocorrência e preparação dos dados

Os dados de ocorrência de *Pygochelidon melanoleuca* foram obtidos de três fontes: (1) coleções biológicas do Museu Paraense Emílio Goeldi (MPEG), Museu de Zoologia da Universidade de São Paulo (MZUSP), Coleção Zoológica do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA) e Coleções Taxonômicas da Universidade Federal de Minas Gerais (DZUFMG); (2) banco de dados online, como Global Biodiversity Information Facility (GBIF) (www.gbif.org) e Wikiaves (<http://www.wikiaves.com.br/>); e (3) registros pessoais de ornitólogos a partir de comunicação pessoal. Os pontos sem coordenadas ou com coordenadas aproximadas (por exemplo, coordenadas de municípios) não foram utilizados nas análises.

Para a modelagem de nicho ecológico, nós obtivemos 19 variáveis climáticas com resolução de 5 arc-min (~10 km grids) da base de dados WorldClim (Fick and Hijmans 2017). As variáveis topográficas, declividade e altitude, foram extraídas da base de dados

Hydro1k (www.usgs.gov). Foi realizada uma análise de correlação de Pearson com uma matriz contendo as 21 variáveis (climáticas e topográficas mencionadas anteriormente), sendo eliminadas aquelas variáveis com correlação $> 70\%$ para reduzir a multicolinearidade dos dados. Após esse procedimento, foram eliminadas 13 variáveis. Assim, para a construção dos modelos foram utilizadas as variáveis topográficas Altitude e Declividade, e seis variáveis climáticas: Temperatura máxima do mês mais quente (Bio5), Temperatura mínima do mês mais frio (Bio6), Precipitação do mês mais chuvoso (Bio13), Precipitação do mês mais seco (Bio14), Precipitação do trimestre mais chuvoso (Bio13), Precipitação do trimestre mais seco (Bio17).



Fig. 1 Registros de ocorrência de *Pygochelidon melanoleuca* apresentando sua distribuição na América do Sul e nas regiões hidrográficas do Brasil. A classificação de região hidrográfica seguiu a Ottocodificação Nível 1 da Agência Nacional das Águas (ANA).

Modelagem de distribuição de espécies

Para a construção dos modelos de distribuição utilizamos o algoritmo Random Forest (RF) do pacote “randomForest” (Liaw e Wiener 2002), e os algoritmos Maxent e Support Vector Machine (SVM) do pacote “dismo” (Hijmans et al. 2017) no ambiente R 3.4 (R Development Core Team 2012). Usamos diferentes algoritmos, pois os dados são tratados de diferentes formas e, assim podem-se minimizar as incertezas nos modelos de distribuição gerados. O RF estima a probabilidade de distribuição de uma espécie ajustando muitos indivíduos em um conjunto de dados de presença e pseudoausências e combina as previsões de todas elas para gerar o modelo (Cutler et al. 2007). Neste método, a informação de ausência é amostrada aleatoriamente no espaço, sendo denominada pseudoausência. No Maxent, a probabilidade de distribuição é baseada no princípio de máxima entropia. Esse algoritmo utiliza o método de presença/background e não requer registros de ausência, pois incorpora a informação da variação ambiental da área de estudo (o background) no desenvolvimento do modelo (Peterson et al. 2011). Com isso, a probabilidade de distribuição é estimada através da associação dos registros de ocorrência com as condições ambientais da área de estudo (Philips et al. 2006). Já o SVM ajusta uma hipersfera que encobre a presença conhecida da espécie no espaço (Peterson et al. 2009). Esse algoritmo mapeia o espaço de entrada original (área de ocorrência da espécie) dentro de um espaço dimensional (área de estudo) a partir dos dados utilizados para construir o modelo (Kanevski et al. 2009). É um dos métodos mais simples da modelagem de nicho, pois utiliza os dados de presença para identificar formas no espaço que contemplem as características ambientais das localidades de ocorrência da espécie (Peterson et al. 2011).

Para a construção dos modelos foi usada a resolução de pixel de 10 km para as variáveis, sendo considerado apenas um registro de ocorrência da espécie por pixel a fim de evitar a autocorrelação espacial dos dados. Foram gerados 10 modelos para cada um dos três algoritmos, os quais foram denominados modelos parciais. Os dados originais dos pontos de ocorrência foram divididos em 20% de pontos de teste para avaliação do modelo e 80% de pontos de treino para construção do modelo, ajustados com o espaço ecológico. Os modelos foram avaliados usando o TSS (em inglês, “True Skill Statistics”) (Allouche et al. 2006) e o AUC (em inglês “Area Under the Curve”) (Fielding e Bell 1997). Os valores de TSS 0,5-0,8 indicam modelos úteis, e acima de 0,8 um bom modelo. Já os valores de AUC entre 0,7-0,9 indicam modelos que podem ser considerados úteis,

e acima de 0,9 indicam um bom modelo. Dessa forma, para a obtenção do modelo final, selecionamos aqueles modelos parciais com valores de $AUC \geq 0,7$ e $TSS \geq 0,5$.

Para a geração do modelo final, calculamos a média dos valores de AUC e TSS obtidas para os modelos parciais de cada algoritmo separadamente e para a união dos modelos parciais usamos a função “ensemble forecast” (seguindo Araújo and New 2007). Esse método considera que diferentes erros afetam cada modelo de maneira distinta e então, faz-se um consenso dos modelos, reduzindo os erros e produzindo uma solução mais confiável (Diniz-Filho et al. 2010). O modelo final de distribuição potencial de *P. melanoleuca* foi recortado para a área que compreende o Brasil e, posteriormente, foi sobreposto com as informações dos empreendimentos hidrelétricos construídos e planejados no país.

Hidrelétricas e regiões hidrográficas

As informações dos empreendimentos hidrelétricos construídos e planejados no Brasil foram obtidas através do Sistema de Informações Georreferenciadas do Setor Elétrico (SIGEL) (ANEEL 2018) (Fig. 2). Como a espécie não ocorre em riachos de pequeno porte, selecionamos rios acima de terceira ordem. Para isso foi gerada a hidrografia do Brasil no programa Qgis 2.18 (QGIS Development Team 2017) a partir dos arquivos de fluxo acumulado e direção do fluxo disponíveis na plataforma de dados HydroSHEDS com resolução de 3 arc-sec (<https://hydrosheds.cr.usgs.gov/hydro.php>). Em seguida, a ordenação dos rios foi determinada de acordo com a classificação Strahler (1957). Essa hidrografia foi dividida em regiões hidrográficas de acordo com a Ottocodificação Nível 1 da Agência Nacional das Águas (ANA), uma vez que as regiões hidrográficas são utilizadas para orientar o planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos (CNRH 2003).

Sobreposição por hidrelétricas

Para calcular o percentual de empreendimentos hidrelétricos construídos (cenário atual) e planejados (cenário futuro) no Brasil que estão sobrepostos com área de distribuição potencial da espécie, delimitamos um *buffer* de 10 km ao longo dos cursos d'água e dos pontos dos empreendimentos hidrelétricos. Em seguida, transformamos o modelo final em um modelo binário e extraímos a quantidade total de pixels que continham os empreendimentos hidrelétricos sobrepostos com as áreas de potencial distribuição.

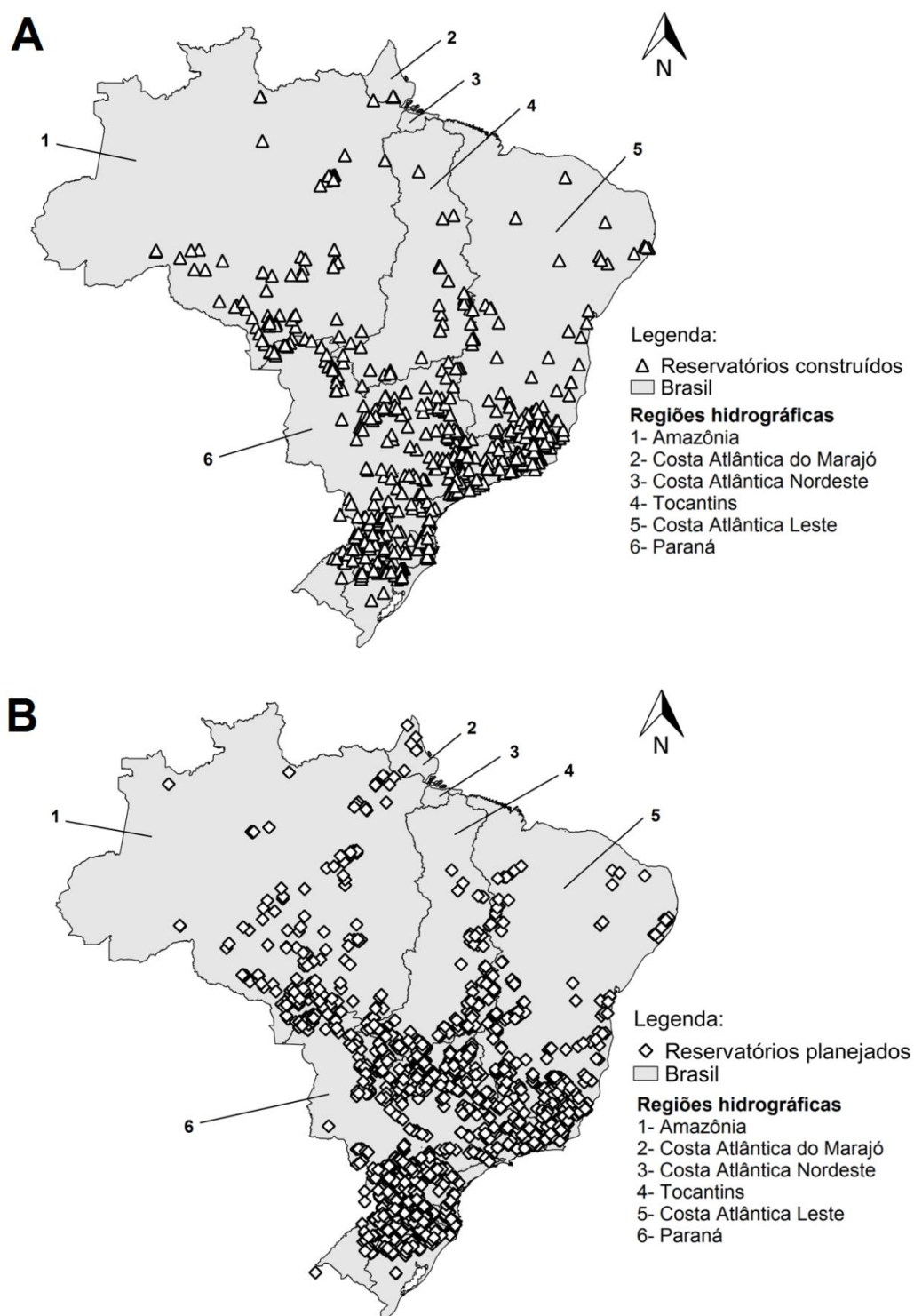


Fig. 2. Empreendimentos hidrelétricos construídos (A) e planejados (B) no Brasil de acordo com Sistema de Informações Georreferenciadas do Setor Elétrico (SIGEL) da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).

Sobreposição por hidrelétricas e análises

Para calcular o percentual de empreendimentos hidrelétricos construídos (cenário atual) e planejados (cenário futuro) no Brasil que estão sobrepostos com área de distribuição potencial da espécie, delimitamos um *buffer* de 10 km ao longo dos cursos d'água e dos pontos dos empreendimentos hidrelétricos. Em seguida, transformamos o modelo final em um modelo binário e extraímos a quantidade total de pixels que continham os empreendimentos hidrelétricos sobrepostos com as áreas de potencial distribuição.

Para avaliar a sobreposição entre os empreendimentos hidrelétricos e a área de distribuição de *P. melanoleuca* nas regiões hidrográficas, foi realizada uma análise de variância de dois fatores (em inglês, Two-Way ANOVA) para dois cenários distintos: empreendimentos hidrelétricos construídos (cenário atual) e empreendimentos hidrelétricos planejados (cenário futuro). A variável preditora foi os empreendimentos hidrelétricos, e a variável resposta o potencial de ocorrência (valores dos pixels nas áreas de potencial ocorrência), sendo os fatores os empreendimentos hidrelétricos e as regiões hidrográficas. A ANOVA de dois fatores permitiu avaliar o efeito dos preditores “empreendimento hidrelétrico” e “regiões hidrográficas” sobre a potencial ocorrência da espécie em cada cenário, bem como verificar se há interação entre esses dois preditores sobre a variável resposta. Para isso, extraímos os valores dos pixels de toda área de distribuição potencial que não possui empreendimentos hidrelétricos e os valores dos pixels da área de distribuição potencial sobreposta com os empreendimentos hidrelétricos.

Resultados

Nós obtivemos 237 registros de ocorrência de *Pygochelidon melanoleuca*, dos quais 87 foram excluídos por não atenderem as premissas para a elaboração dos modelos. Todos os modelos mostraram as regiões hidrográficas da Amazônia, Costa Atlântica do Marajó e Costa Atlântica Nordeste como áreas de alta probabilidade de ocorrência de *P. melanoleuca*, e as áreas das bacias Paraná e Costa Atlântico Leste com baixa probabilidade (Fig. 3). O modelo final de distribuição potencial da espécie apresentou boa capacidade preditiva ($TSS = 0,62 \pm 0,08$; $AUC = 0,82 \pm 0,07$). Os modelos parciais gerados pelo Maxent produziram modelos com menores valores de TSS. Já os modelos parciais gerados pelo Random Forest e Support Vector Machine indicaram bom desempenho preditivo (Tabela 1).

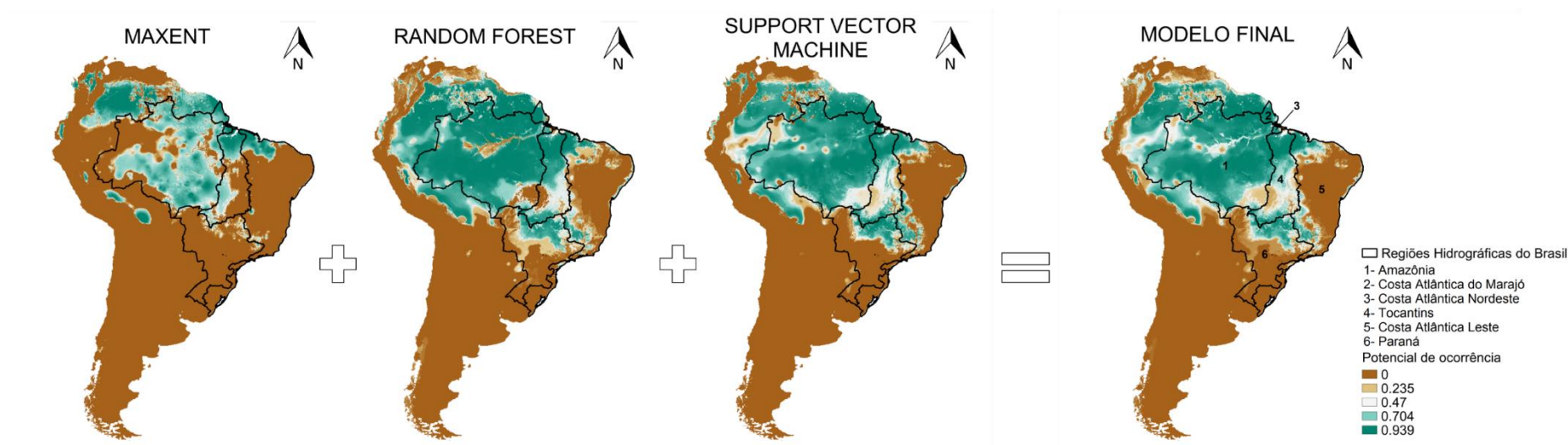


Fig. 3. Mapas da distribuição potencial de *Pygochelidon melanoleuca* gerados pelos diferentes algoritmos (Maxent, Random Forest e Support Vector Machine) e o modelo final, obtido a partir do ‘ensemble’ dos modelos parciais de cada algoritmo. As regiões em verde mais escuro são consideradas áreas com maior potencial de ocorrência da espécie.

Tabela 1. Resultado dos modelos parciais de distribuição gerados para *Pygochelidon melanoleuca* com os valores AUC (Area Under Curve) e TSS (True Skill Statistic). RF, Random Forest; SVM, support Vector Machine.

| Algoritmo | Modelos parciais | AUC | TSS |
|-----------|------------------|-----|-----|
| Maxent | Modelo 1 | 0,8 | 0,3 |
| | Modelo 2 | 0,8 | 0,4 |
| | Modelo 3 | 0,8 | 0,4 |
| | Modelo 4 | 0,8 | 0,3 |
| | Modelo 5* | 0,7 | 0,5 |
| | Modelo 6 | 0,6 | 0,4 |
| | Modelo 7 | 0,8 | 0,2 |
| | Modelo 8 | 0,8 | 0,4 |
| | Modelo 9 | 0,7 | 0,3 |
| | Modelo 10 | 0,8 | 0,3 |
| RF | Modelo 1 | 0,9 | 0,3 |
| | Modelo 2* | 0,9 | 0,7 |
| | Modelo 3* | 0,9 | 0,7 |
| | Modelo 4* | 0,9 | 0,6 |
| | Modelo 5* | 0,7 | 0,6 |
| | Modelo 6* | 0,8 | 0,6 |
| | Modelo 7 | 0,9 | 0,2 |
| | Modelo 8* | 0,9 | 0,5 |
| | Modelo 9 | 0,9 | 0,3 |
| | Modelo 10* | 0,8 | 0,6 |
| SVM | Modelo 1* | 0,9 | 0,5 |
| | Modelo 2* | 0,8 | 0,7 |
| | Modelo 3* | 0,9 | 0,7 |
| | Modelo 4* | 0,8 | 0,7 |
| | Modelo 5* | 0,8 | 0,7 |
| | Modelo 6* | 0,8 | 0,7 |
| | Modelo 7* | 0,8 | 0,6 |

| | | |
|------------|-----|-----|
| Modelo 8* | 0,8 | 0,7 |
| Modelo 9* | 0,8 | 0,6 |
| Modelo 10* | 0,7 | 0,5 |

* Modelos parciais selecionados para construção do modelo final.

No Brasil, existem aproximadamente 653 empreendimentos hidrelétricos construídos e 1.679 planejados (Tabela 2). Mais de 80% dos empreendimentos hidrelétricos construídos encontram-se na região hidrográfica do Paraná (44,72%) e Costa Atlântica Leste (38,13%), sendo que a maior parte dos empreendimentos planejados também está concentrada nessas mesmas regiões (50,63% e 28,71%, respectivamente). Nas áreas com maior potencial de ocorrência da andorinha (região hidrográfica Amazônica, Costa Atlântica Marajó, Costa Atlântica Nordeste e Tocantins) há menor quantidade de empreendimentos hidrelétricos construídos (Fig. 4A) e planejados (Fig. 4B). A maioria dos empreendimentos localizados na região hidrográfica do Paraná e Costa Atlântica Leste estão em áreas consideradas de baixa adequabilidade de habitat para ocorrência da espécie. Por outro lado, aqueles empreendimentos localizados na região hidrográfica Amazônica e Costa Atlântica Marajó estão em áreas com maior adequabilidade de habitat para ocorrência de *P. melanoleuca* (Tabela 2).

Tabela 2. Quantidade de empreendimentos hidrelétricos construídos e planejados de acordo com a categoria de classes de adequabilidade de habitat para ocorrência de *Pygochelidon melanoleuca* no Brasil. Muito baixa 0,0-0,2; Baixa 0,2-0,4; Média 0,4-0,6; Alta 0,6-0,8; Muito alta 0,8-1,0; NA, Não amostrado.

| Região Hidrográfica | Categoria | Empreendimentos hidrelétricos | | Total |
|---------------------|-------------|-------------------------------|------------|------------|
| | | Construídos | Planejados | |
| Amazônia | Muito baixa | 0 | 1 | 1 |
| | Baixa | 3 | 15 | 18 |
| | Média | 4 | 13 | 17 |
| | Alta | 28 | 81 | 109 |
| | Muito alta | 34 | 83 | 117 |
| | NA | 1 | 0 | 1 |
| Tocantins | Muito baixa | 1 | 6 | 7 |

| | | | | | |
|---------------------------|--|-------------|------------|-------------|--------------|
| | | Baixa | 7 | 25 | 32 |
| | | Média | 18 | 42 | 60 |
| | | Alta | 8 | 48 | 56 |
| | | Muito alta | 5 | 23 | 28 |
| | | NA | 0 | 4 | 4 |
| | | Muito baixa | 0 | 0 | 0 |
| | | Baixa | 0 | 0 | 0 |
| Costa Atlântica do Marajó | | Média | 0 | 1 | 1 |
| | | Alta | 0 | 0 | 0 |
| | | Muito alta | 3 | 5 | 8 |
| | | NA | 0 | 0 | 0 |
| | | Muito baixa | 0 | 0 | 0 |
| Costa Atlântica Nordeste | | Baixa | 0 | 0 | 0 |
| | | Média | 0 | 0 | 0 |
| | | Alta | 0 | 0 | 0 |
| | | Muito alta | 0 | 0 | 0 |
| | | NA | 0 | 0 | 0 |
| | | Muito baixa | 189 | 343 | 532 |
| Costa Atlântica Leste | | Baixa | 25 | 40 | 65 |
| | | Média | 12 | 41 | 53 |
| | | Alta | 15 | 49 | 64 |
| | | Muito alta | 2 | 8 | 10 |
| | | NA | 6 | 1 | 7 |
| | | Muito baixa | 181 | 510 | 691 |
| Paraná | | Baixa | 24 | 59 | 83 |
| | | Média | 22 | 59 | 81 |
| | | Alta | 34 | 101 | 135 |
| | | Muito alta | 24 | 116 | 140 |
| | | NA | 7 | 5 | 12 |
| Total | | | 653 | 1679 | 2.332 |

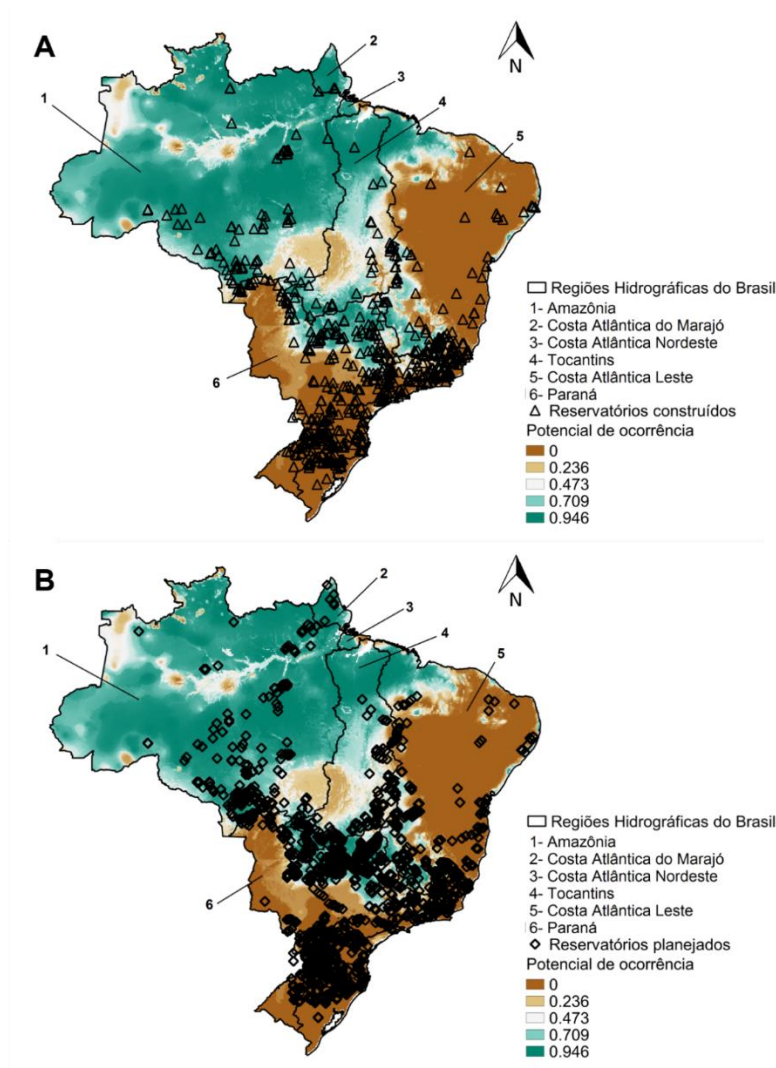


Fig. 4. Empreendimentos hidrelétricos construídos (A) e planejados (B) sobre a área de potencial ocorrência de *Pygochelidon melanoleuca* no Brasil.

Aproximadamente 35,33% dos empreendimentos hidrelétricos construídos estão sobrepostos com as áreas de potencial distribuição da espécie (Fig. 4A). A sobreposição dos empreendimentos hidrelétricos construídos sobre a área de potencial distribuição variou de acordo com a região hidrográfica ($F = 7,58$; G.L.= 4; $p < 0,01$). As regiões hidrográficas do Paraná e Costa Atlântica Leste apresentaram 30,49% e 12,89%, respectivamente, de empreendimentos hidrelétricos sobrepostos com as áreas de potencial distribuição (Fig. 5A, 5B). Na bacia Amazônica e Costa Atlântica Marajó, 96,64% e 100% das hidrelétricas construídas encontram-se sobrepostas com as áreas de distribuição potencial de *P. melanoleuca*, respectivamente (Fig. 5C, 5D).

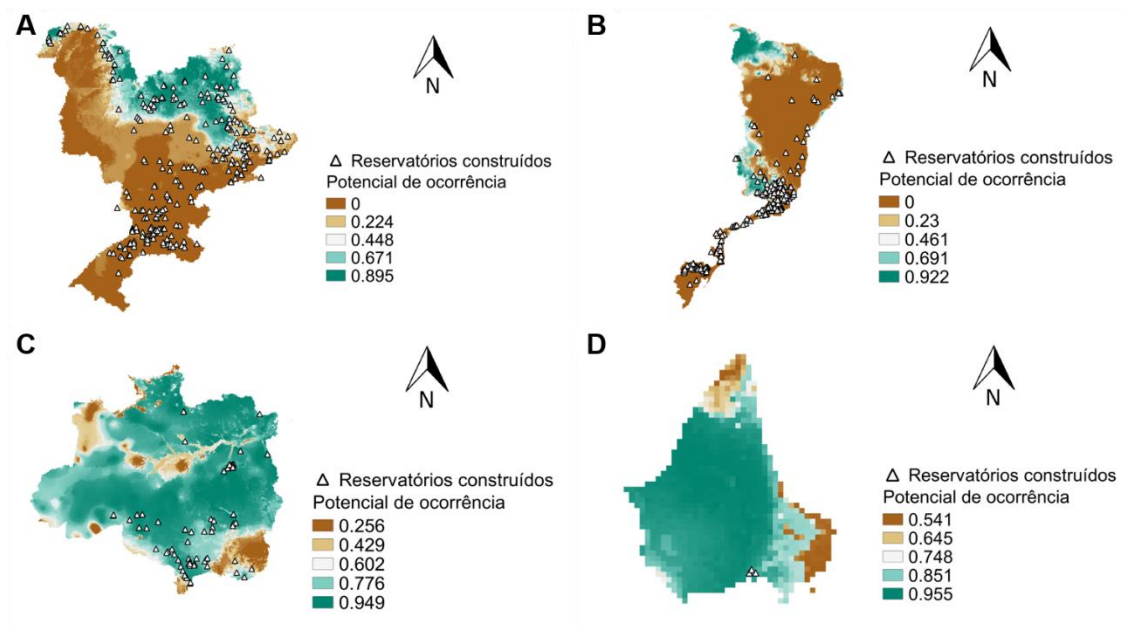


Fig. 5. Empreendimentos hidrelétricos construídos nas áreas de potencial ocorrência de *Pygochelidon melanoleuca* por regiões hidrográficas: Paraná (A), Costa Atlântica Leste (B), Amazônia (C) e Costa Atlântica Marajó (D).

Quando analisamos a sobreposição dos empreendimentos hidrelétricos planejados, podemos notar que mais 43,80% dos empreendimentos estarão sobrepostos com as áreas de potencial ocorrência de *P. melanoleuca* (Fig. 4B). A sobreposição dos empreendimentos hidrelétricos planejados variou sobre a área de distribuição potencial de acordo com a região hidrográfica ($F = 18,82$; G.L.= 4; $p < 0,01$). As regiões hidrográficas do Paraná e Costa Atlântica Leste poderá ter cerca de 35,17% e 21,82%, respectivamente, empreendimentos hidrelétricos sobrepostos com as áreas de potencial ocorrência da espécie (Fig. 6A, 6B), enquanto a bacia Amazônica e Costa Atlântica Marajó, 92,33% e 100%, respectivamente (Fig. 6C, 6D). Observamos uma redução da quantidade de habitat adequado à ocorrência da espécie devido à sobreposição com hidrelétricas (cenário atual). Caso haja a implantação de mais empreendimentos, a disponibilidade de habitat adequado continuará reduzindo (cenário futuro) (Fig. 7).

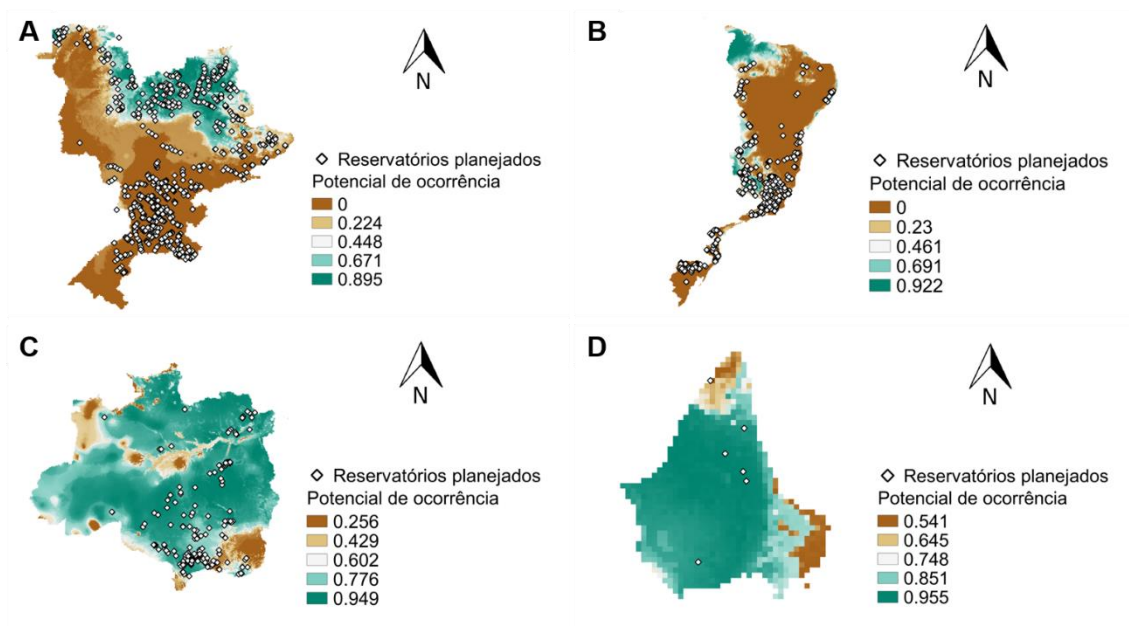


Fig. 6. Empreendimentos hidrelétricos construídos e planejados nas áreas de potencial distribuição de *Pygochelidon melanoleuca* por regiões hidrográficas: Paraná (A), Costa Atlântica Leste (B), Amazônia (C) e Costa Atlântica Marajó (D).

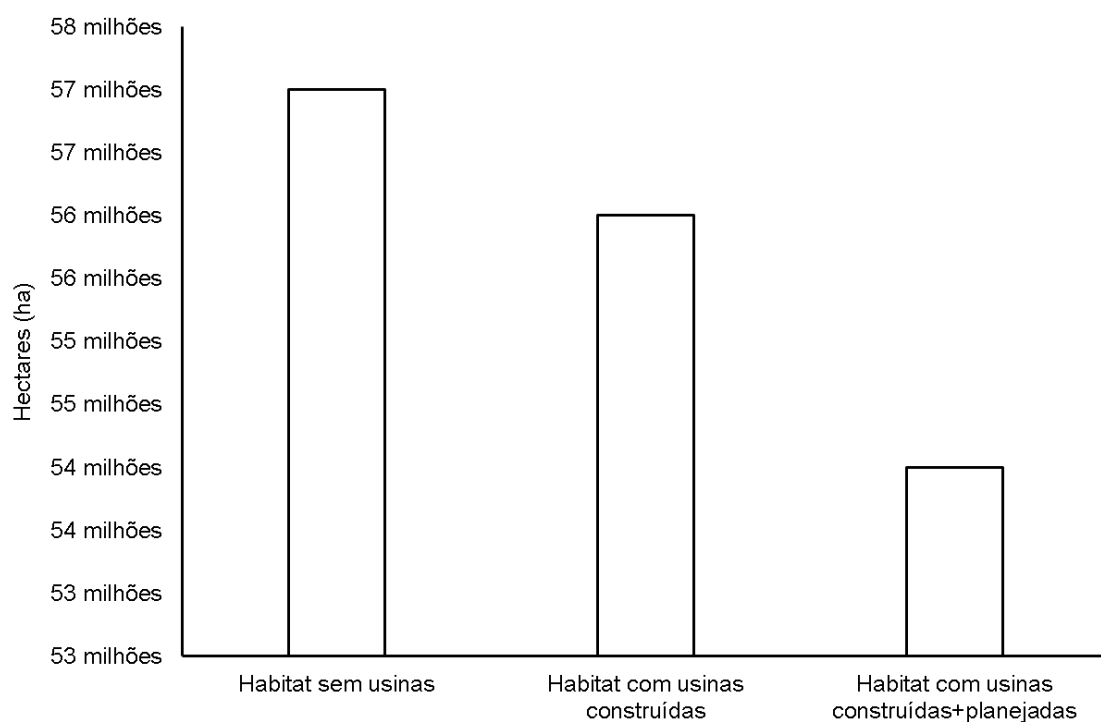


Fig. 7. Quantidade de habitat adequado à ocorrência de *Pygochelidon melanoleuca* no Brasil: habitat adequado considerando a inexistência de empreendimentos hidrelétricos, habitat com empreendimentos hidrelétricos construídos (cenário atual) e habitat com empreendimentos construídos e planejados (cenário futuro).

Discussão

No presente estudo fornecemos a primeira avaliação em ampla escala do quanto os empreendimentos hidrelétricos construídos e planejados no Brasil estão sobrepostos com as áreas de potencial ocorrência de *P. melanoleuca*, uma ave altamente dependente do ecossistema aquático. Essa sobreposição variou de acordo com a região hidrográfica, devido ao número de empreendimentos construídos e planejados, bem como pela extensão da área de potencial ocorrência da espécie em cada região. A maioria dos empreendimentos localizados na região hidrográfica do Paraná e Costa Atlântica Leste está em áreas consideradas de baixa adequabilidade de habitat para ocorrência da espécie. Por outro lado, aqueles empreendimentos localizados na região hidrográfica Amazônica e Costa Atlântica Marajó estão em áreas com maior adequabilidade de habitat para ocorrência de *P. melanoleuca*. Vale ressaltar que o percentual de perda de área adequada para a ocorrência da espécie poderá ser maior do que o apresentado, uma vez que não há informação disponível da quantidade de área total afetada por empreendimento.

Na região hidrográfica do Paraná, limite sul de distribuição de *P. melanoleuca*, a espécie apresentou uma distribuição mais restrita e uma pequena extensão de área de ocorrência quando comparada com grandes áreas, como a região Amazônica. Na região hidrográfica do rio Paraná estão localizados os maiores centros urbanos do país, os quais fornecem cerca de 70% da energia elétrica produzida no Brasil (Agostinho et al. 2007), com um total de 292 Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs) e Usinas Hidrelétricas (UHEs) (ANEEL 2018). Apesar dos modelos indicarem uma baixa adequabilidade de ocorrência de *P. melanoleuca* nessa região, 30,49% dos empreendimentos hidrelétricos estão sobrepostos com as áreas de potencial ocorrência da espécie. O desenvolvimento econômico no início do século XX no Brasil, principalmente na região hidrográfica do Paraná, aliado à elevada disponibilidade hídrica e a entrada de capital estrangeiro, tornou a construção de hidrelétricas uma alternativa urgente no país (Valêncio et al. 1999). Segundo dados do governo brasileiro, atualmente estão planejados mais 850 empreendimentos hidrelétricos para essa região (ANEEL 2018). Esse cenário é preocupante, uma vez que a construção de hidrelétricas na região hidrográfica do Paraná sobre a área de distribuição de *P. melanoleuca* já reduziu grande parte da quantidade de habitat adequado à ocorrência da espécie. Caso haja a implantação de novos empreendimentos na região hidrográfica do Paraná, a espécie poderá perder o micro-habitat necessário para manutenção de suas populações, podendo até mesmo ser extinta local.

A área com maior extensão de potencial de ocorrência da espécie são as regiões hidrográficas Amazônica e Costa Atlântica Marajó. Aproximadamente, 96,64% e 100%, respectivamente, dos empreendimentos hidrelétricos construídos estão sobrepostos com as áreas de distribuição potencial de *P. melanoleuca*. Atualmente, existe uma reorientação geográfica para implantação de grandes projetos hidrelétricos na região Amazônica, devido à saturação do potencial hidrelétrico nas regiões sul, sudeste e nordeste do Brasil, e o aumento da oferta energética e de eixos a serem explorados nessa região (Choueri e Azevedo 2017). Dentro desse cenário, a Amazônia brasileira apresenta um alto potencial para geração de energia hidrelétrica, por possuir grande quantidade de água e quedas topográficas significativas (Fearnside 2015). Existem propostas de projetos de pequeno, grande e mega reservatórios na Amazônia, sendo que três dos dez mega reservatórios já estão construídos (Belo Monte, Santo Antônio e Madeira), e os sete restantes ainda estão em fase de planejamento (Latrubesse et al. 2017). O impacto da construção de hidrelétricas sobre a população de *P. melanoleuca* nessa região requer atenção, dado que a construção de quase todos os empreendimentos estará em áreas com alta adequabilidade de habitat para a ocorrência da espécie. Esses fatos ressaltam a necessidade de atenção aos impactos causados pela construção desses empreendimentos, já que o processo de tomada de decisão em iniciar novos projetos tende a subestimar os impactos causados pelos reservatórios, e também superestimar seus benefícios (Fearnside 1989, 2005).

A expansão dos empreendimentos hidrelétricos pode provocar danos à biodiversidade e comprometer o funcionamento ecossistêmico (Wiese et al. 2008; Couto e Olden 2018; Azevedo-Santos et al. 2018). De maneira geral, as regras operacionais criadas para otimizar a produção de energia do reservatório não consideram as necessidades ecológicas da biota associada a esses locais (Lees et al. 2016). Nesse contexto, têm sido recomendadas estratégias que visem reduzir o impacto dos reservatórios sobre a biodiversidade (e.g. Woodward et al. 2008; Kitzes e Shirley 2015; Kang et al. 2016). Dentre essas estratégias destacam-se o controle do nível da água do reservatório de acordo com as necessidades ecológicas das aves aquáticas (Zhang 2016); a elaboração de um “Programa de Manejo Adaptativo” para avaliar o efeito das operações dos reservatórios sobre o curso d’água (Lovich e Melis 2007); a inclusão de modelos hidrológicos para ajudar a prever os padrões de inundação e seca que podem estar ligados aos processos ecológicos e ciclos de vida bióticos (Kingsford 2000); a realização de pesquisas que avaliem o efeito da construção dos reservatórios sobre as populações de aves (por exemplo, distribuição, sobrevivência, taxas de sucesso reprodutivo) (Claassen

2004); e por fim, o estabelecimento de trechos de rios livres de hidrelétricas de forma a minimizar os impactos sobre as populações da espécie (Silva et al. 2017).

As hidrelétricas constituem um importante fator a ser considerado no planejamento de conservação da andorinha-de-coleira, uma vez que os ambientes com corredeiras e cachoeiras são cruciais para manutenção de suas populações (Lees et al. 2016; Silva et al. 2017). Os dados apresentados representam apenas uma estimativa do quanto os empreendimentos hidrelétricos estão sobrepostos com a área de potencial distribuição da espécie em cenários atuais e futuros no Brasil. Para melhor entendimento dos efeitos dos reservatórios sobre a dinâmica da espécie, torna-se necessária a realização de novas pesquisas que visem estudar a ecologia básica (e.g. padrões reprodutivos, ecologia alimentar), bem como os potenciais efeitos da construção dos empreendimentos hidrelétricos na viabilidade da manutenção de suas populações.

Neste trabalho verificamos que a andorinha-de-coleira apresenta uma extensão de distribuição mais abrangente nas regiões hidrográficas Amazônica, Costa Atlântica do Marajó e Costa Atlântica Nordeste, e mais restrita nas regiões hidrográficas do Paraná e Costa Atlântica Marajó. Encontramos que a sobreposição de hidrelétricas em cenários atuais e futuros variou com a região hidrográfica. A região Amazônica e Costa Atlântica Marajó foram os locais que apresentaram os maiores percentuais de sobreposição de hidrelétricas com as áreas de potencial distribuição da espécie. Além disso, demonstramos o quanto a sobreposição de hidrelétricas nas áreas de potencial ocorrência de *P. melanoleuca* vem reduzindo a quantidade de habitat adequado a persistência da espécie.

Agradecimentos

Somos gratos ao Dr. Alexandre Aleixo e Fátima Lima (MPEG), Dr. Mário Cohn-Haft e Msc. Ingrid Macedo (INPA), Dr. Thiago Vernaschi (MUZUSP) e Dr. Marcelo Vasconcelos (DZUFMG) por fornecer as informações dos espécimes depositados nas coleções. À Thiago Souza, Arthur Macarrão, Fernando Carvalho, Lucas Carrara, Dr. José Fernando Pacheco, Msc. Eduardo Alteff e Wagner Nogueira por fornecerem alguns registros. Ao programa de Pós-graduação em Ecologia e Conservação de Recursos Naturais da Universidade Federal de Uberlândia pelo suporte e CNPq/FAPESPA (ICAAF 094/2016) pelo suporte financeiro. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Referências

Agostinho AA, Gomes LC, Pelicice FM (2007) Ecologia e manejo de recursos pesqueiros em reservatórios do Brasil. Eduem, Maringá.

Allouche O, Tsoar A, Kadmon R (2006) Assessing the accuracy of species distribution models: prevalence, kappa and the true skill statistic (TSS). J Appl Ecol 43:1223–1232. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2006.01214.x>

Aneel (Agência Nacional de Energia Elétrica) (2018) Sistema de Informações Geográficas do Setor Elétrico-SIGEL. <https://sigel.aneel.gov.br/Down/>. Accessed 13 August 2018.

Araújo MB, New M (2007) Ensemble forecasting of species distributions. Trends Ecol Evol 22:42–47. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2006.09.010>

Azevedo-Santos VM, Frederico RG, Fagundes CK, Pompeu PS, Pelicice FM, Padial AA, Nogueira MG, Fearnside PM, Lima LB, Daga VS, Oliveira FJM, Vitule JRS, Callisto M, Agostinho AA, Esteves FA, Lima-Junior DP, Magalhães ALB, Sabino J, Mormul RP, Grasel D, Zuanon J, Vilella FS, Henry R (2018) Protected areas: a focus on brazilian freshwater biodiversity. Divers Distrib 25:442–448. <https://doi.org/10.1111/ddi.12871>

BirdLife International (2017) *Pygochelidon melanoleuca* (amended version of 2016 assessment). <http://www.iucnredlist.org/details/22712140/0>. Accessed 21 April 2018.

Cabeza M, Arponen A, Jaattela L, Kujala H, Van Teeffelen A, Hanski I (2010) Conservation planning with insects at three different spatial scales. Ecography 33:54–63. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2009.06040.x>

Carvalho DL, Sousa-Neves T, Cerqueira PV, Gonsioroski G, Silva SM, Silva DP, Santos MPD (2017) Delimiting priority areas for the conservation of endemic and threatened Neotropical birds using a niche-based gap analysis. PloS One 12:e0171838. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0171838>

Choueri RB, Azevedo JAR (2017) Biodiversidade e impacto de grandes empreendimentos hidrelétricos na bacia Tocantins-Araguaia: uma análise sistêmica. *Sociedade & Natureza* 29:443-457. <https://doi.org/10.14393/SN-v29n3-2017-6>

Claassen AH (2004) Abundance, distribution, and reproductive success of sandbar nesting birds below the Yali Falls hydropower dam on the Sesan River, northeastern Cambodia. WWF/Danida/WCS/BirdLife International, Phnom Penh.

CNRH (Conselho Nacional dos Recursos Hídricos) (2003) Resolução n. 32, Anexo I. Ministério do Meio Ambiente, Brasília.

Couto TBA, Olden JDO (2018) Global proliferation of small hydropower plants-science and policy. *Frontiers in Ecology and the Environment* 16:91–100. <https://doi.org/10.1002/fee.1746>

Cutler DR, Edwards Jr TC, Beard KH, Cutler A, Hess KT, Gibson J, Lawler JJ (2007) Random forests for classification in ecology. *Ecology* 88:2783-2792. <https://doi.org/10.1890/07-0539.1>

Diniz Filho JAF, Ferro VG, Santos T, Nabout JC, Dobrovolski R (2010). The three phases of the ensemble forecasting of niche models: geographic range and shifts in climatically suitable areas of *Utetheisa ornatix* (Lepidoptera, Arctiidae). *Revista Brasileira de Entomologia* 54:339-349. <http://dx.doi.org/10.1590/S0085-56262010000300001>

Drummond GM, Machado ABM, Martins CS, Mendonça MP, Stehmann JR (2008) Listas vermelhas das espécies da fauna e da flora ameaçada de extinção em Minas Gerais. <http://www.biodiversitas.org.br/cdlistavermelha/default.asp>. Accessed 08 January 2018.

Eletrobrás (2010) Sistema de informação do potencial hidrelétrico brasileiro - SIPOT. Brasil: Centrais Elétricas Brasileiras – Eletrobrás.

Fagundes CK, Vogt RC, Souza RA, De Marco Jr P (2018) Vulnerability of turtles to deforestation in the Brazilian Amazon: Indicating priority areas for conservation. *Biol Conserv* 226:300-310. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2018.08.009>

Fearnside PM (1989) Brazil's Balbina Dam: Environment versus the legacy of the pharaohs in Amazonia. *Environ Management* 13:401-423. <https://doi.org/10.1007/BF01867675>

Fearnside PM (2005) Brazil's Samuel Dam: Lessons for hydroelectric development policy and the environment in Amazonia. *Environ Management* 35:1-19. <https://doi.org/10.1007/s00267-004-0100-3>

Fearnside PM (2015) Desenvolvimento Hidrelétrico na Amazônia. In: Fearnside PM (Org) Hidrelétricas na Amazônia: impactos ambientais e sociais na tomada de decisões sobre grandes obras. INPA, Manaus, pp 09-33.

Fern RR, Morrison ML (2017) Mapping critical areas for migratory songbirds using a fusion of remote sensing and distributional modeling techniques. *Ecological Informatics* 42:55-60. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2017.09.007>

Fick,SE, Hijmans RJ (2017) Worldclim 2: New 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*. <http://worldclim.org/version2>. Accessed 20 April 2018.

Fielding AH, Bell JF (1997) A review of methods for the assessment of prediction errors in conservation presence/absence models. *Environ Conserv* 24:38-49. <http://dx.doi.org/10.1017/S0376892997000088>

Finer M, Jenkins CN (2012) Proliferation of hydroelectric dams in the Andean Amazon and implications for Andes-Amazon connectivity. *PLoS One* 7:e35126. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0035126>

Frederico RG, Zuanon J, De Marco P (2018) Amazon protected areas and its ability to protect stream-dwelling fish fauna. *Biol Conserv* 219:12-19. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2017.12.032>

Frissell CA, Bayles D (1996) Ecosystem management and the conservation of aquatic biodiversity and ecological integrity. *Water Resources Bulletin* 32:229-240. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.1996.tb03447.x>

Guisan A, Tingley R, Baumgartner JB, Naujokaitis-Lewis I, Sutcliffe PR, Tulloch AI, Regan TJ, Brotons L, McDonald-Madden E, Mantyka-Pringle C, Martin TG, Rhodes JR, Maggini R, Setterfield SA, Elith J, Schwartz MW, Wintle BA, Broennimann O, Austin M, Ferrier S, Kearney MR, Possingham HP, Martin TG (2013) Predicting species distributions for conservation decisions. *Ecol Lett* 16:1424-1435. <https://doi.org/10.1111/ele.12189>

Hijmans RJ, Phillips S, Leathwick J, Elith J (2017) dismo: Species Distribution Modeling. R package version 1.1-4. <https://CRAN.R-project.org/package=dismo>. Accessed 20 April 2018.

Hilty SL (2002) *Birds of Venezuela*. Princeton University Press, Nova Jersey.

Hughes AC (2017) Mapping priorities for conservation in Southeast Asia. *Biol Conserv* 209:395-405. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2017.03.007>

IEA (International Energy Agency) (2017) Key world energy statistics. International Energy Agency. <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/KeyWorld2017.pdf>. Accessed 17 January 2018.

Kanevski M, Pozdnoukhov A, Timonin V (2009) *Machine Learning Algorithms for Geospatial data: Theory, Applications and Software*. PPUR EPFL-Press, Lausana.

Kang H, Jung SH, Park D (2016) Development of an ecological impact assessment model for dam construction. *Landsc Ecol Engineering* 13:15-31. <https://doi.org/10.1007/s11355-015-0287-x>

Kingsford RT (2000) Ecological impacts of dams, water diversions and river management on floodplain wetlands in Australia. *Aust Ecol* 25:109-127. <https://doi.org/10.1046/j.1442-9993.2000.01036.x>

Kitzes J, Shirley R (2016) Estimating biodiversity impacts without field surveys: A case study in northern Borneo. *Ambio* 45:110-119. <https://doi.org/10.1007/s13280-015-0683-3>

Latrubesse EM, Arima EY, Dunne T, Park E, Baker VR, D'Horta FM, Wight C, Wittmann F, Zuanon J, Baker PA, Ribas CC, Norgaard RB, Filizola N, Ansar A, Flyvbjerg B, Stevaux JC (2017) Damming the rivers of the Amazon basin. *Nature* 546:363-369. <https://doi.org/10.1038/nature22333>

Lees AC, Peres CA, Fearnside PM, Schneider M, Zuanon JAS (2016) Hydropower and the future of Amazonian biodiversity. *Biodivers Conserv* 25:451–466. <https://doi.org/10.1007/s10531-016-1072-3>

Liaw A, Wiener M (2002) Classification and regression by randomForest. *R News* 2:18-22.

Lovejoy TE (2006) Protected areas: a prism for a changing world. *Trends in Ecology and Evolution* 21:329-33. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2006.04.005>

Lovich J, Melis TS (2007) The state of the Colorado River ecosystem in Grand Canyon: lessons from 10 years of adaptive ecosystem management. *International Journal of River Basin Management* 5:207-221. <https://doi.org/10.1080/15715124.2007.9635321>

MMA (Ministério do Meio Ambiente) (2015) Resultado da avaliação do estado de conservação das aves brasileiras ciclo 2010–2014. http://www.icmbio.gov.br/cemave/images/stories/oquefazemos/result_avaliac_2010-2014.pdf. Accessed 20 April 2018.

Peterson AT, Navarro-Sigüenza AG (2009) Making biodiversity discovery more efficient: an exploratory test using Mexican birds. *Zootaxa* 2246:58-66.

Peterson AT, Soberón J, Pearson RG, Anderson RP, Martínez-Meyer E, Nakamura M, Araújo MB (2011) Ecological niches and geographic distributions. Princeton University Press, Nova Jersey.

Phillips SJ, Anderson RP, Schapire RE (2006) Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecol Model* 190:231–259. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026>

QGIS Development Team (2017) QGIS Geographic Information System, Version 2.18.- Las Palmas. https://www.qgis.org/pt_BR/site/. Accessed 17 January 2018.

R Development Core Team (2012) R: A Language and Environment for Statistical Computing. <http://www.R-project.org/>. Accessed 03 January 2018.

RAISG (Rede Amazônica de Informação Socioambiental Georreferenciada) (2013) Amazonia Bajo Presión. <http://www.raisg.socioambiental.org/amazoniabajo-presion-2012>. Accessed 03 December 2017.

Ridgely RS, Tudor G (1989) The birds of South America: The Oscine Passerines. University of Texas Press, Austin.

Sick H (1997) Ornitologia brasileira. Nova Fronteira, Rio de Janeiro.

Silva M, Bermann C, Fearnside PM, Millikan B, Baitelo R, Sousa Jr WC, Rey O, Moreira PF, Kishinami R, Ribeiro LP, Moreira CF, Bara Neto P, Rosmarin H (2012) Setor elétrico brasileiro e a sustentabilidade no século 21: oportunidades e desafios. International Rivers Network, Brasília.

Silva GA, Salvador GN, Malacco GB, Nogueira W, Almeida SM (2017). Range and conservation of the regionally critically endangered Black-collared Swallow, *Pygochelidon melanoleuca* (Wied, 1820) (Aves, Hirundinidae), in Minas Gerais, Brazil. *Check List* 13:455–459. <https://doi.org/10.15560/13.5.455>

Silva YBS, Ribeiro BR, Brum FT, Soares-Filho B, Loyola R, Michalski F (2018) Combined exposure to hydroelectric expansion, climate change and forest loss jeopardies amphibians in the Brazilian Amazon. *Divers Distrib* 24:1072-1082. <https://doi.org/10.1111/ddi.12745>

Strahler AN (1957) Quantitative analysis of watershed geomorphology. *Eos, Transactions American Geophysical Union* 38:913-920. <https://doi.org/10.1029/TR038i006p00913>

Straube FC, Urben-Filho A, Cândido-Jr JF (2004) Novas informações sobre a avifauna do Parque Nacional do Iguaçu (Paraná). *Atualidades Ornitológicas* 120:10-28.

Turner A (2016) Black-collared Swallow (*Atticora melanoleuca*). In: Del Hoyo J, Elliott A, Sargatal J, Christie DA, Juana E (eds) *Handbook of the birds of the world alive*. Lynx Edicions, Barcelona.

Valêncio NFLS, Gonçalves JC, Vidal KC, Martins RC, Rigolin MV, Lourenço LC, Mendonça SAT, Leme AA (1999) O papel das hidroelétricas no processo de interiorização paulista: o caso das usinas hidroelétricas de Barra Bonita e Jurumirim. In: Henry R (ed) *Ecologia de reservatórios: estrutura, função e aspectos sociais*. Fundibio/Fapesp, Botucatu, pp 185-218.

Villero D, Pla M, Camps D, Ruiz-Olmo J, Brotons L (2016) Integrating species distribution modelling into decision-making to inform conservation actions. *Biodiver Conserv* 26:251-271. <https://doi.org/10.1007/s10531-016-1243-2>

Wiese FK, Parrish JK, Thompson CW, Maranto C (2008) Ecosystem-based management of predator–prey relationships: piscivorous birds and salmonids. *Ecol Appl* 18:681-700. <https://doi.org/10.1890/06-1825.1>

Woodward A, Schreiner EG, Crain P, Brenkman SJ, Happe PJ, Acker SA, Hawkins-Hoffman C (2008) Conceptual models for research and monitoring of Elwha dam removal—management perspective. *Northwest Science* 82:59-71. <https://doi.org/10.3955/0029-344X-82.S.I.59>

Zhang X, Dong Z, Gupta H, Wu G, Li D (2016) Impact of the Three Gorges Dam on the hydrology and ecology of the Yangtze River. *Water* 8:590.
<https://doi.org/10.3390/w8120590>